الباب الأول

فيزياء إحصائية STATISTICAL PHYSICS

يعالج علم الميكانيكا الإحصائية حركة المجاميع الكبيرة من الأجسام (مثل جزيئات غاز) وخواص هذه المجاميع والقوانين التى تحكمها .

تتكون أى مادة سواء فى حالتها الصلبة أو السائلة أو الغازية من أعداد كبيرة جدا من الذرات أو الجزيئات الدائمة الحركة ، والتى يربط بينها قوى بينية تكون كبيرة فى حالة المواد الصلبة وصغيرة في حالة الغازات . مثلا : فى ١ كيلو جرام جزيئى Kilomole يوجد عدد من الجزيئات يسمى عدد أفو جادرو ويساوى ٦.٠٢×١٠^{٢٦} جزىء ولإثبات أن ذرات أو جزيئات المادة دائبة لحركة تجرى عادة التجارب البسيطة التالية :

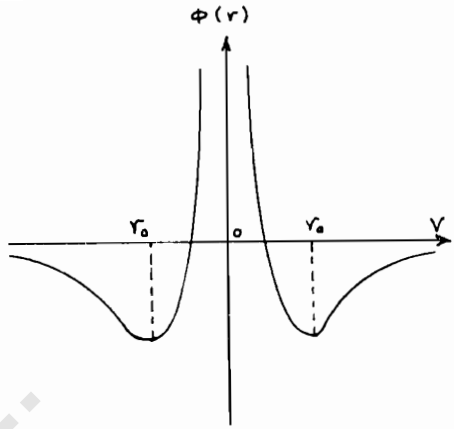
١ – فى حالة **الغازات** : تجربة الدخان . أو عند فتح زجاجة عطر فان رائحتها تظهر على بعد أمتار فى ثوان قليلة .

٢ – وفى حالة **السوائل** : قطرة حبر فى ماء نقى تنتشر تماما فى فترة وجيزة .

٣ – فى حالة **الجوامد** : تجربة انتشار الرصاص فى الذهب وبالعكس .

١ – ١ الخواص الطبيعية للمواد تتوقف على طبيعة مجاميع ذراتها أو جزيئاتها :

التمدد : إذا كانت ذرات المادة تشغل أماكن محددة تحت تأثير القوى البينية بينها ، فعند رفع درجة الحرارة تتذبذب كل ذرة أو جزىء حول وضع اتزانه فى بئر الجهد (شكل ١ – ١) وتزداد سعة الذبذبة برفع درجة الحرارة . وهذه تظهر على شكل تمدد خارجى .



شكل(١-١)

الانصهار : إذا وصلت درجة الحرارة لدرجة الانصهار فإن طاقة حركة الجزيئات أو الذرات تكون من الكبر ، بحيث تستطيع التغلب على قوى الترابط بين الذرات ، مما يسبب كسر الحالة الصلبة وتحويلها إلى حالة سائلة .

شكل وحجم الجسم : تكون القوى البينية فى الجوامد كبيرة جدا ، وهذا ما يحفظ شكل وحجم الجسم الصلب ثابتا لا يتغير عند نفس الدرجة ، أما بالنسبة للسوائل تكون قوى الترابط أقل ، ولذلك فإن جزيئات السائل تكون أكثر حرية للحركة ، وبالتالى يتشكل السائل بشكل الإناء الذى يحتويه بينما يظل حجمه ثابتا . أما بالنسبة للغازات تكون قوى الترابط بين الجزيئات صغيرة جدا . وبالتالى فإنها تكون حرة الحركة وتشغل دائما جميع الحجم الذى توضع فيه ، أى أنها لا تحتفظ بشكل أو بحجم .

البخر من السوائل : تختزن الأجسام طاقتها الحرارية على شكل طاقة حركة جزيئاتها . وليس من المعقول أن تتساوى طاقات الحركة لهذه الملايين الكثيرة من الجزيئات . ولكن عادة تكون للاغلبية طاقة متوسطة هى التى تعرف الحالة الحرارية للمادة .

ومن الملاحظ أنه عند هروب الجزيئات ذ ت طاقة الحركة الكبيرة من سطح السائل ، مما يتسبب عنه ما يعرف بالبخر ، تقل طاقة الحركة المتوسطة لمجموعة الجزيئات المتبقية وبالتالى تنخفض درجة الحرارة وهى حقيقة معروفة بالتبريد بواسطة البخر .

الميكانيكا الإحصائية تعد بداية لتحويل دراستنا الطبيعية من الحالة الماكروئية إلى الحالة الميكروسكوبية .

وقد كانت نظرية الحركة للغازات هى بداية الطريق فى هذا المضمار ولذلك سندرسها بالتفصيل . وبالرغم من الفروض المبسطة التى بنيت عليها نظرية الحركة للغازات ، فإن النتائج التى تحصلنا عليها منها أصبحت تطبق على مثل هذه المجاميع من الأجسام التى يمكن أن تعد حرة تقريبا .

١ - ٢ نظرية الحركة للغاز التام

الفرق بين الميكانيكا الإحصائية وميكانيكا الجسم المتماسك :

بدأ علم الفيزياء الإحصائية على يدى ماكسويل وبولتزمان ، بدراسة مجاميع من الأجسام الصغيرة المتشابهة ، والتى تتحرك بدون ارتباط مع بعضها البعض . ويمكن تمثيل هذه المجاميع فى أبسط صورها بحالة غاز تام .

تركيب الغاز التام مستنتجة من قوانين الغازات

وجد أن جميع الغازات عند الضغوط الصغيرة تتبع القوانين البسيطة التالية :

١ - **قانون بويل** : وينص على أنه لكتلة معينة من الغاز يتناسب ضغط الغاز عكسيا مع حجمه طالما حفظت درجة الحرارة ثابتة $P \alpha \frac{1}{V}$.

٢ - **قانون شارل** : إذا سخنت كتلة معينة من الغاز تحت حجم ثابت فإن الضغط يزداد طرديا مع زيادة درجة الحرارة . $P \propto T$.

٣ - **قانون دالتون للضغوط الجزئية** : ضغط خليط من غازات مختلفة على جدران الإناء الحاوى لها يساوى مجموع الضغوط التى تؤثر بها هذه الغازات على الجدران

obeikandl.com

لو أن كل منها وجد على حدة فى نفس الحجم .

$$P = \sum_i P_i$$

٤ – **قانون جول** : الطاقة الداخلية للغاز لا تتوقف على حجمه بمعنى أننا إذا تركنا الغاز يتمدد فى الفراغ فلن يحدث هناك فقدان للطاقة .

٥ – **قانون جاى لوساك** : عندما تتفاعل الغازات كيميائيا ويكون ناتج التفاعل غازيا أيضا ، تكون نسبة الغازات المتفاعلة والغاز الناتج هى نسبة بسيطة .

٦ – **قانون أفوجادرو** : الحجوم المتساوية من الغازات عند نفس درجة الحرارة والضغط تحتوى على **نفس العدد من الجزيئات** .

من واقع القوانين السابقة يمكن وصف تركيب الغاز التام وهو الذى يخضع تماما لجميع القوانين السابقة ، كما يأتى :

يتركب الغاز التام من جزيئات لها الخواص التالية :

١ – جزيئات الغاز عبارة عن **كرات صلبة ملساء** تامة المرونة .

٢ – الجزيئات **فى حالة حركة مستمرة** تتصادم مع بعضها البعض ، وكذلك مع جدران الإناء الذى يحتويها .

٣ – **تتناسب درجة حرارة الغاز** المطلقة مع متوسط **طاقة حركة الجزيئات** .

٤ – **لا يوجد بين الجزيئات قوى جزيئية** .

٥ – **الحجم الفعلى للجزيئات** لا يشغل إلا جزءا متناهيا فى الصغر من الحجم الكلى للإناء المحتوى للغاز .

للتدليل على صحة الفروض السابقة عن تركيب الغاز التام نفرض **أولا أن الجزيئات ليست ملساء أو تامة المرونة** : معنى ذلك أن جزءا من طاقة حركتها يفقد بالتصادم ، حيث إن خشونة السطح تستهلك جزءا من الطاقة .

أى إننا كلما تركنا الغاز لحالة لمدة طويلة فإن طاقته تقل تدريجيا ، نتيجة للتصادم وتكون النتيجة نقصاً مستمراً فى الطاقة الداخلية للغاز ، وهذا ضد قانون جول .

ثانيا – لو لم تكن **حركة الجزيئات عشوائية** فى كل الاتجاهات ، لأمكن تجميع الجزيئات فى جزء فقط من الحجم ، دون باقى الأجزاء وهذا غير صحيح .

١ – ٣ معادلة الحالة للغاز التام :

حساب ضغط الغاز :

لإيجاد عدد الجزيئات فى وحدة الحجوم $dn_{\theta\varphi v}$ التى لها اتجاه معين $\theta\varphi$ ، وتكون سرعاتها محصورة بين (v . v + dv) :

اعتبر حجما معينا V من غاز تام تتوزع جزيئاته بانتظام فى كل الحيز .

نفرض N هى العدد الكلى للجزيئات .

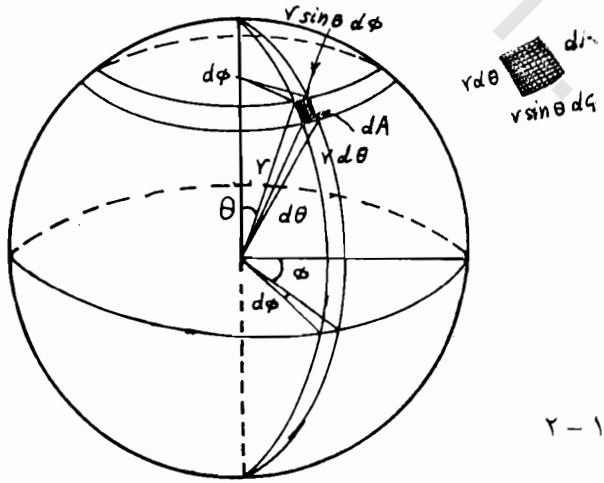
∴ عدد الجزيئات فى وحدة الحجوم $n = N/V$

وبما أن توزيع الجزيئات منتظم فإن عدد الجزيئات فى الحجم dV هو $dN = ndV$

تتحرك الجزيئات حركة عشوائية أى إن اتجاهات السرع للجزيئات تكون فى الاتجاهات المختلفة بنفس درجة الاحتمال .

نفرض أن سرعة كل جزىء يمثلها متجه ، وأن جميع المتجهات قد نقلت لمركز إحداثيات مشترك . تقطع هذه المتجهات أو امتداداتها سطح كرة مركزها هو مركز الإحداثيات ، ويكون **توزيع نقط التقاطع منتظما على سطح الكرة** ، حيث إن توزيع السرعات واتجاهاتها فى الفراغ منتظم .

* متوسط عدد النقط لوحدة المساحات = $\frac{N}{4\pi r^2}$



شكل ١ – ٢

حيث r هو نصف قطر كـرة المرجع (شكل ١ – ٢) . إذا كـانت dA هى مساحة صغيرة فإن عدد النقط عليها هو :

$$dN = \frac{N}{4\pi r^2} . dA$$

اعتبر الآن أى متجه فى الفراغ يمر بالمساحة dA ، ويتحدد اتجاهه على أساس محاور قطبية بالزاويتين (φ , θ) كما فى شكل ١ – ٢ .

وتكون على هذا الأساس المساحة dA مساوية :

$$dA = r \sin\theta \; d\varphi \; r \; d\theta = r^2 \sin\theta \; d\theta \; d\varphi$$

وتكون عدد النقط فى هذه المساحة هى :

$$dN_{\theta\varphi} = \frac{N}{4\pi r^2} r^2 \sin\theta \; d\theta \; d\varphi$$

$$= \frac{N}{4\pi} \sin\theta \; d\theta \; d\varphi$$

هذا العدد هو نفسه عدد الجزيئات التى لها سرعات مختلفة ، وتتحرك فى الاتجاه بين

$$(d\varphi + \varphi , \varphi) , (\theta + d\theta , \theta)$$

وبالقسمة على الحجم الكلى للغاز نحصل على عدد الجزيئات فى وحدة الحجوم التى لها الاتجاه السابق وهي :

$$dn_{\theta . \varphi} = \frac{dN_{\theta . \varphi}}{V} = \frac{n}{4\pi} \sin\theta \; d\theta \; d\varphi$$

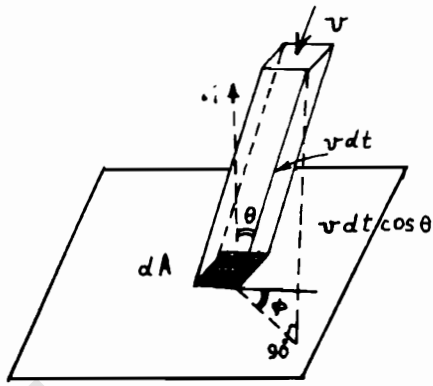
حيث $n = \frac{N}{V}$ هو عدد الجزيئات فى وحدة الحجوم

* ويكون للجزيئات التى تتحرك فى الاتجاه $\varphi\theta$ سرعات تتفاوت بين صفر ومالا نهاية .

أما إذا أردنا ان نعتبر فقط تلك الجزيئات التى تتحرك فى هذا الاتجاه ، ويكون لها سرعات بين (v + dv , v) يكون هذا العدد هو :

$$dn_{\theta\varphi v} = \frac{dn_v}{4\pi} \sin\theta \; d\theta \; d\varphi \qquad \ldots\ldots\ldots (1 - 1)$$

إيجاد العدد الكلى للتصادمات مع وحدة المساحة فى وحدة الزمن لجميع جزيئـــات الغاز :



شكل ١ – ٣

تصادم الجزيئات مع الجدران .

اعتبر مساحة صغير dA من جدران الإناء المحتوى للغاز شكل (١ – ٣) . واعتبر جزئياً يتحرك بسرعة ما بين v & v + dv وفى الاتجاه بين :

$(\varphi , \varphi + d\varphi) , (\theta , \theta + d\theta)$

ولنسمى هذا الجزىء وأمثاله $\theta\ \varphi\ v$.

فى فترة زمنية dt يتحرك الجزىء مسافة vdt .

أنشىء اسطوانة (أو متوازى مستطيلات) مائلة فى الاتجاه $\theta\varphi$ ويكون طولها vdt ، واعتبر جميع الجزيئات بداخلها . تتفاوت سرعة هذه الجزيئات بين صفر ، ∞ .

عدد الجزيئات فى وحدة الحجوم والتى تتحرك فى الاتجاه $dn_{\theta\varphi} = \theta\varphi$ من هذه الجزيئات يوجد عدد صغير $dn_{\theta\varphi}(v)$ يكون متحركا بسرعة واقعة بين v & v + dv . عدد هذه الجزيئات لوحدة الحجم من المعادلة رقم ١-١ يكون :

$$dn_{\theta\varphi v} = \frac{dn_{,}}{4\pi} \sin\theta\ d\theta\ d\varphi$$

حجم الأسطوانة :

$$dV = dA \cdot v\, dt \cos\theta$$

عدد الجزيئات من نوع $v\ \varphi\ \theta$ الموجودة بالاسطوانة هو :

$$n_{\theta\varphi v}\, dV = dA\, dt\, \frac{v\, dn_v}{4\pi} \sin\theta \cos\theta\, d\theta\, d\varphi$$

ويكون عدد الجزيئات من هذا النوع التى تصدم وحدة المساحة فى وحدة الزمن هى : (بالقسمة على ($dA\, dt$)) :

$$\frac{1}{4\pi} v\, dn_v \sin\theta \cos\theta\, d\theta\, d\varphi$$

∴ وبإجراء التكامل على θ بين $\frac{\pi}{2}$ ، وعلى φ بين 2π ، نحصل على العدد الكلى للتصادمات مع وحدة المساحة فى وحدة الزمن وهذا يساوى :

$$\frac{1}{4} v\, d\, n_v$$

أى إن عدد التصادمات يتناسب مع السرعة v ، وكذلك مع عدد الجزيئات التي لها هذه السرعة .

ولإيجاد العدد الكلى للتصادمات مع وحدة المساحة فى وحدة الزمن بالنسبة لجميع الجزيئات للغاز ولكافة السرع نجرى التكامل لنحصل على :

$$\frac{1}{4} \int v\, dn_v \qquad \ldots\ldots (1-2)$$

وإذا أدخلنا فى الاعتبار **السرعة المتوسطة للجزيئات** ، يمكن وضع النتيجة السابقة على صورة أبسط .

لإيجاد السرعة المتوسطة لجزيئات غاز . نفرض أن هناك N_1 جزىء له سرعة v_1 & N_2 له سرعة v_2 وهكذا تكون السرعة المتوسطة هى :

$$\bar{v} = \frac{N_1 v_1 + N_2 v_2 + \ldots.}{N_1 + N_2 + \ldots..} = \frac{\Sigma_i N_i v_i}{\Sigma_i N_i} = \frac{\Sigma_i N_i v_i}{N}$$

obeikandi.com

وإذا قسمنا على حجم الغاز فإن : $\bar{v} = \frac{\sum n_i v_i}{n}$

حيث n هو العدد فى وحدة الحجوم

أما إذا كان توزيع الجزيئات متصلاً

فإن علامة المجموع Σ تتحول إلى تكامل : $\bar{v} = \frac{\int v \, dn}{n}$

أى إن $n \bar{v} = \int v \, dn$ وبذلك تصبح معادلة ١ – ٢

العدد الكلى للتصادمات مع وحدة المساحة في وحدة الزمن لجميع الجزيئات =

$$\frac{1}{4} n . v$$

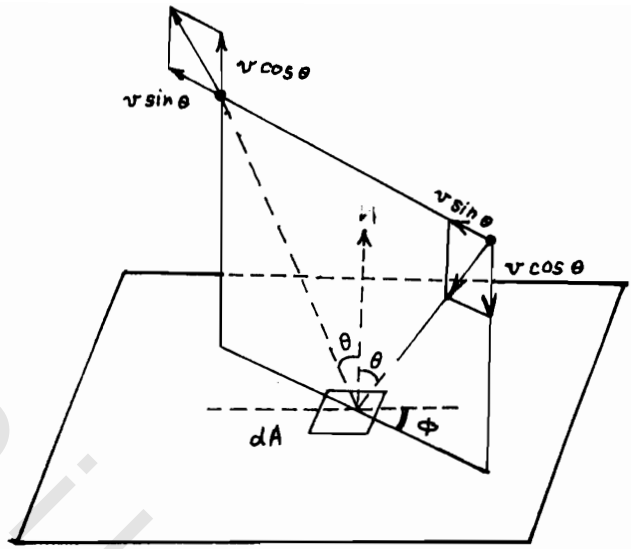
مثال : أوجد عدد مرات تصادم جزيئات الأكسجين على المتر المربع من الجدران فى الثانية ، إذا كانت كثافته ٣ × ١٠^{٢٥} جزىء لكل متر مكعب والسرعة المتوسطة للجزىء عند درجة ٢٧٣° مطلق هى ٤٥٠ متر / ثانية .

الحل : العدد =

$$\frac{1}{4} n \bar{v} = \frac{1}{4} \times 3 \times 10^{25} \times 450$$

$= 3.3 \times 10^{27}$ تصادما على المتر المربع فى الثانية .

obeikandl.com



شكل(١-٤)

دفع الجزيئات للجدران :

اعتبر جزيئا سرعته v يسقط على مساحة dA بزاوية θ على الاتجاه الرأسى شكل (١-٤) . يرتد الجزىء على السطح الأملس بنفس السرعة وتكون زاوية الارتداد هى نفس زاوية السقوط θ تتغير المركبة العمودية للسرعة بالتصادم من v cos θ إلى - v cos θ .

إذا كانت كتلة الجزىء m يكون التغير العمودى فى كمية الحركة هو :

$$m\,v\cos\theta - (-mv\cos\theta) = 2m\,v\cos\theta$$

ولكن مما سبق وجدنا أن :

عدد التصادمات $\theta\varphi v$ مع مساحة dA فى الزمن dt هو

$$\frac{1}{4\pi}\,v\,dn_v\,\sin\theta\,\cos\theta\,d\theta\,d\varphi\,.\,dA\,dt$$

التغير فى كمية الحركة بعد هذه التصادمات فى الزمن dt هو

$$2m\ v\ \cos\theta\ \frac{1}{4\pi}\ v\ dn_{v}\ \sin\theta\cos\theta\ d\theta\ d\varphi\ dA\ dt$$

$$= \frac{1}{2\pi} m v^2\ dn_{v}\ \sin\theta\ \cos^2\theta\ d\theta\ d\varphi\ dA\ dt$$

نحصل على التغير الكلى فى كمية كالحركة لجميع التصادمات للسرعة v ، بإجراء التكامل على θ من صفر إلى $\frac{\pi}{2}$ وعلى φ من صفر إلى 2π

التكامل الأول بالنسبة لـ $\theta = \frac{١}{٣}$

والتكامل الثانى بالنسبة لـ $\varphi = 2\pi$

$\therefore$ التغير الكلى فى كمية الحركة $= \frac{1}{3} m v^2\ dn_{v}\ dA\ dt$

هذا التغير يكون بالنسبة للسرعات الواقعة بين v & $v + dv$ ، ويصبح التغير الكلى بالنسبة لجميع السرعات هو :

$$\frac{1}{3} m \left[\int v^2\ dn_{v} \right] dA\ dt$$

وباستخدام نظرية الدفع وكمية الحركة لنيوتن :

$$F = m a = m \frac{dv}{dt}$$

$$\therefore F\ dt = m\ d\ v$$

أى أن الدفع يساوى التغير فى كمية الحركة . فإذا كانت القوة المؤثرة على المساحة dA هى dF فإن

$$dF.\ dt = \frac{1}{3} m \left[\int v^2\ dn_{v} \right] dA\ dt$$

ولكن من تعريف الضغط على السطح ، هو القوة على وحدة المساحات أى أن :

$$P = \frac{dF}{dA} = \frac{1}{3} \int v^2\ dn_{v}$$

obeikandl.com

متوسط مربع سرعة الجزيئات v^2

يمكن وضع المعادلة السابقة بصورة أبسط لو اعتبرنا متوسط مربع سرعة الجزيئات :

$$\overline{v}^2 = \frac{\Sigma N_i \, v_i^2}{\Sigma N_i} = \frac{\Sigma N v_i^2}{N}$$

$$\therefore \overline{v}^2 = \frac{\Sigma n_i \, v_i^2}{n}$$

أما إذا كان للجزيئات توزيع متصل للسرعات فإن :

$$\overline{v}^2 = \frac{1}{n} \int v^2 \, dn_v$$

$$n \, \overline{v}^2 = \int v^2 \, dn_v$$

ضغط الغاز :

وباستخدام المعادلة السابقة مع معادلة ضغط الغاز نحصل على

$$P = \frac{1}{3} m \, n \, \overline{v}^2$$

يلاحظ أن متوسط مربع السرعة لا يساوى مربع متوسط السرعة

$$\overline{v^2} \neq (\overline{v})^2$$

المعادلة العامة للغازات :

باستخدام معادلة الضغط السابقة يمكن الحصول على العلاقة بين الحجم والضغط ودرجة الحرارة لغاز .

نفرض أن n هو عدد الجزيئات فى وحدة الحجوم ، N هو العدد الكلى للجزيئات فى الحجم V :

$$\therefore n = \frac{N}{V}$$

obeikandi.com

ومن معادلة الضغط :

$$\therefore P = \frac{1}{3} \frac{N}{V} m \overline{v}^2$$

$$PV = \frac{1}{3} N m \overline{v}^2$$

إذا اعتبرنا ١ كجم جزىء من غاز تكون N هى عدد أفوجادرو ويكون $M = Nm$ هو الوزن الجزيئى للغاز ويكون الطرف الأيمن من المعادلة عبارة عن $\left(\frac{2}{3}\right)$ طاقة حركة الجزيئات فى هذا الكيلو جرام الجزيئى .

المعادلة السابقة تشبه معادلة الحالة للغاز التام للكيلو جرام الجزيئى :

$$PV = RT = N k T$$

حيث R هو ثابت الغاز للكيلو جرام الجزيئى k ثابت بولتزمان ومن المعادلتين نجد أن :

$$\frac{2}{3} N . \frac{1}{2} m \overline{v}^2 = RT$$

$$\frac{1}{2} m \overline{v}^2 = \frac{3}{2} \frac{R}{N} T = \frac{3}{2} kT$$

أى أن **طاقة حركة الجزىء الواحد** تساوى $\frac{2}{3}$ حاصل ضرب ثابت بولتزمان فى درجة الحرارة المطلقة للغاز . وهذه المعادلة تعطى تعريف ثابت بولتزمان أو ثابت الغاز والمعنى الطبيعى له .

ثابت بولتزمان يساوى $\frac{2}{3}$ طاقة الحركة الانتقالية لجزىء واحد عند درجة الحرارة ١ كلفن .

∴ طاقة الحركة المتوسطة للجزىء تتناسب مع درجة الحرارة المطلقة ولا تتوقف على ضغط الغاز أو حجمه . أى أن طاقة حركة جزيئات الغازات المختلفة مثل الأيدروجين – الهيليوم – الأوكسجين وغيرها جميعها متساوية عند نفس درجة الحرارة بالرغم من اختلاف أوزانها الذرية .

١ -٤ درجات الحرية وقانون تساوى توزيع الطاقة :

أى جسم يتحرك فى خط مستقيم يكون له درجة واحدة من درجات الحرية ، أما إذا تحرك على مستوى يكون له درجتان حيث إنه يستطيع الحركة فى كل من الاتجاه س أو ص .

الجسم المتحرك فى الفراغ له ثلاث درجات حرية انتقالية . يمكن أيضا وجود درجات حرية دورانية أو درجات حرية تذبذبية .

عدد درجات الحرية لأى جسم متحرك تضاف إلى بعضها . فمثلا غاز به عدد N جزىء أحادى الذرة يكون له 3N عدد درجات حرية انتقالية .

من نظرية الحركة للغازات ، وجدنا أن طاقة الحركة الانتقالية لكل جزىء تساوى :

$$\frac{3}{2}\ kT$$

بما أن لدينا ثلاث درجات حرية انتقالية للجزىء تكون طاقة حركة الجزىء لكل درجة حرية تساوى 1/2 kT ويسمى هذا بقانون تساوى توزيع الطاقة على درجات الحرية المختلفة .

نص القانون :

فى أى مجموعة ديناميكية فى حالة اتزان حرارى تتوزع الطاقة بالتساوى على درجات الحرية المختلفة وتكون قيمة كل منها $\frac{1}{2}\ kT$.

للجوامد طاقة حركة للذرات المكونة لها وكذلك طاقة موضع ، لذلك فإن طاقة الذرة لكل درجة حرية هى $2 \times \frac{1}{2}\ kT = kT$.

مثال : احسب طاقة حركة وجذر متوسط مربع السرعة لجزيئات الأكسجين عند درجة ٢٧°م علما بأن الوزن الجزيئى له ٣٢ .

وأن عدد الجزيئات فى ١ كيلو جرام جزيئى = ٦,٠٣ × ١٠^٢٦

ثابت بولتزمان = ١,٣٨ × ١٠^-٢٣

الحل :

$$T = 273 + t = 300\ ^{\circ}K$$

$$\frac{3}{2}\ kT = \frac{3}{2} \times 1.38 \times 10^{-23} \times 300 = 6.21 \times 10^{-21}\ \text{Joule}$$

كتلة جزىء الأكسجين

$$m = \frac{32}{6.03 \times 10^{26}} = 5.31 \times 10^{-26}\ \text{Kgm}$$

متوسط مربع السرعة

$$\overline{v}^2 = \frac{2 \times 6.21 \times 10^{-21}}{5.31 \times 10^{-26}}$$

$$= 23.4 \times 10^{4}\ (m/s)^2$$

$$\text{r.m.s. } v = \sqrt{\overline{v}^2} = 482\ m/S$$

ملاحظة : سرعة الصوت فى الهواء تحت الظروف المعتادة N T P = ٣٥٠ متر / ثانية .

١ – ٥ استنتاج قوانين الغازات من معادلة الضغط :

١ – قانون بويل :

$$PV = \frac{1}{3}\ m\ n\ \overline{v}^2$$

عند ثبوت درجة الحرارة تكون طاقة حركة الجزيئات المتوسطة ثابتة ، أى إن $\overline{v}^2 = \text{Constant}$ وبذلك نحصل على قانون بويل $PV = \text{constant}$

٢ - قانون أفوجادرو :

اعتبر غازين عند نفس درجة الحرارة والضغط :

$$\therefore\ P = \frac{1}{3} m_1\ n_1\ \overline{v}_1^2 = \frac{1}{3}\ m_2\ n_2\ \overline{v}_2^2$$

وبما أن الغازين فى نفس درجة الحرارة :

$$\frac{1}{2}\ m_1\ \overline{v}_1^2 = \frac{1}{2}\ m_2\ v_2^2$$

ومن المعادلتين السابقتين نجد أن :

$$n_1 = n_2$$

أى إن أى غازين لهما نفس الضغط ودرجة الحرارة يكون لهما نفس العدد من الجزيئات لوحدة الحجوم .

٣ - قانون دالتون : اعتبر مجموعة من الغازات كثافاتها هى d_1 , d_2 , d_3 ، ومتوسط مربع سرعاتها .... ، $\overline{v}_1^2 , \overline{v}_2^2 , \overline{v}_3^2$

إذا خلطت هذه الغازات فى حجم معين فإن محصلة الضغط P للمخلوط باعتبار جميع الأنواع من الجزيئات تكون :

$$P = \frac{1}{3}\ d_1\ \overline{v}_1^2 + \frac{1}{3}\ d_2\ \overline{v}_2^2 + \frac{1}{3}\ d_3\ \overline{v}_3^2 + ...$$

$$= P_1 + P_2 + P_3 + ... = \Sigma_i\ P_i$$

تعيين جذر متوسط مربع السرعة للجزئيات :

$$r.m.s.v = \sqrt{\overline{v}^2}$$

باعتبار ١ كيلو جرام جزيئى يكون m N هو الوزن الجزيئى بالكيلو جرام للغاز . يمكن تعيين r . m . s . v جذر متوسط مربع السرعة لغاز بمعرفة ثابت الغذر له ودرجة حرارته أو بقياس ضغطه وحجمه .

$$PV = \frac{1}{3} m N \overline{v}^2 \qquad P = \frac{1}{3} \frac{m N}{V} v^2$$

$$\frac{Nm}{V} = \frac{\text{total mass of gas}}{\text{its volume}} = \frac{\text{كتلة الغاز}}{\text{حجمه}}$$

d = كثافته

$$\overline{v}^2 = \frac{3P}{d}$$

ويكون جذر متوسط مربع السرعة هو :

$$r.m.s.v = \sqrt{\overline{v}^2} = \sqrt{\frac{3P}{d}}$$

أيضا :

من المعادلة العامة للغازات $PV = RT = NkT$

ومن معادلة ضغط الغاز :

$$PV = RT = \frac{1}{3} N m v^2$$

حيث N هى عدد جزيئات الغاز فى الحجم V

$$\frac{1}{3} N m v^2 = N k T$$

$$\overline{v}^2 = \frac{3kT}{m}$$

$$r.m.s.v = \sqrt{\overline{v}^2} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$$

تعريف : الإلكترون فولط (eV) :

عند معالجة الإلكترونات أو الأيونات بهذه الطريقة الإحصائية ، فإننا نستخدم الالكترون فولط كوحدة للطاقة . وتعريفها هو الطاقة التى يتحصل عليها الإلكترون عند سقوطه خلال فرق فى الجهد مقداره ١ فولط .

١ إلكترون فولط = ١٠ × ١,٦٠٢ $^{-١٩}$ جول

obeikandl.com

للمقارنة :

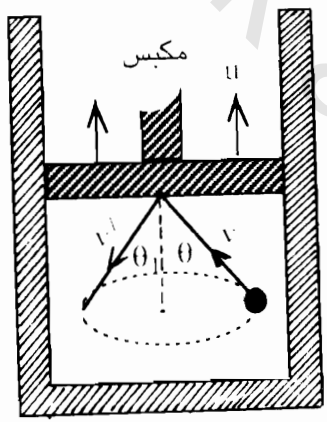
عند درجة حرارة ٣٠٠° مطلق تكون طاقة الجزىء $\frac{3}{2}$ k T

$$= \frac{3}{2} \times 1.38 \times 10^{-23} \times 300 \text{ Joule}$$

$$= \frac{6.21 \times 10^{-21}}{1.6021 \times 10^{-19}} = 0.04 \text{ ev}$$

وهذه القيمة هى طاقة حركة جزىء الغاز بالإلكترون فولط عند درجة ٢٧ ° م .

تطبيق : إثبات أن التغير الأدياباتيكى لغاز يخفض من درجة حرارته تصادم الجزيئات مع جدار متحرك . Adiabatic change



من المعروف أن التمدد الحر لغاز تحت ظروف ثابتة الحرارة (تغير ادياباتى) يسبب نقصا فى درجة حرارة الغاز أى نقصا فى طاقته الداخلية .

لإثبات ذلك على أساس الميكانيكا الإحصائية للغاز ، نعتبر غازاً داخل اسطوانة يقفلها مكبس حر الحركة ، شكل (١ – ٥) .

نفرض أن المكبس تحرك إلى أعلى بسرعة u أقل نسبياً من السرعة الجزيئية للغاز ، وأن الغاز يظل أثناء ذلك فى حالة اتزان ديناميكى حرارى .

نفرض جزىء يتحرك بسرعة v ويعمل زاوية θ مع العمودى على المكبس المتحرك .

المركبة العمودية للسرعة قبل التصادم = $v \cos \theta$

المركبة العمودية للسرعة بعد التصادم $v^1 \cos \theta^1$

حيث v^1 , θ^1 هما سرعة الجزىء والزاوية التى يصنعها مع العمودى بعد التصادم .

وهذه المركبة تساوى $v \cos \theta - 2u$

التغير فى طاقة الحركة نتيجة التصادم =

$$1/2 \quad m (v \cos \theta)^2 - 1/2 \; m (v^1 \cos \theta^1)^2$$

$$= \frac{1}{2} m (v \cos \theta)^2 - \frac{1}{2} m (v \cos \theta - 2u)^2$$

تساوى تقريبا $2 m u v \cos \theta$

حيث إننا فرضنا أن v أكبر كثيرا من u وأهملنا الحد فى u^2 كما سبق أن أثبتنا أن : -

عدد الجزيئات التى تصدم وحدة المساحة فى وحدة الزمن للسرعة v

$$= \frac{1}{4 \pi} v \, dn_v \sin \theta \cos \theta \, d\theta \, d\varphi$$

وبوضع $d \varphi = 2 \pi$ لتجميع تأثير كل الجزيئات يكون العدد السابق هو :

$$= \frac{1}{2} v \, dn_v \sin \theta \cos \theta \, d\theta \qquad .... (2)$$

ويكون النقص الكلى فى طاقة الحركة عند التصادم لكل هذه الجزيئات

$$= m \, u \, v^2 \, dn_v \sin \theta \cos^2 \theta \, d \theta$$

وبإجراء التكامل على الزوايا θ بين صفر ، $\frac{\pi}{2}$ نوجد النقص الكلى فى طاقة جميع جزيئات الغاز ذات السرعة v عند تصادمها مع وحدة المساحة فى وحدة الزمن . وهذا يعطى :

$$\frac{1}{3} m \, u \, v^2 \, dn_v$$

وأخيرا بالتكامل على جميع قيم السرعات v ما بين صفر ومالا نهاية نحصل على :

(باعتبار جميع الجزيئات)

$$\frac{1}{3} n \, m \, v^2 \, . \, u = P \, . \, u$$

وإذا كانت مساحة المكبس A يكون النقص الكلى فى طاقة حركة الجزيئات يساوى =

$$P A \, . \, u = F \, . \, u$$

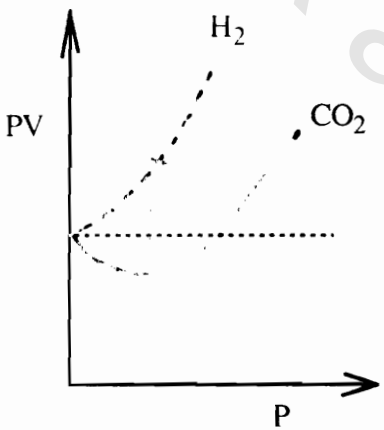
حاصل الضرب $F \cdot u$ هو معدل بذل الشغل على المكبس أثناء حركته . فإذا كانت المجموعة معزولة حراريا أى أن الجزيئات لا تستقبل حرارة من الخارج ، نجد أن طاقة حركة الجزيئات تنخفض وبالتالى تنخفض درجة حرارة الغاز .

سؤال : أثبت باستخدام الميكانيكا الإحصائية أن التمدد الدياباتى لغاز يسبب نقصا فى درجة حرارته .

١ – ٦ حيود الغازات الحقيقية عن تصرف الغاز التام :

من المعروف أن الغازات الحقيقية تحيد فى تصرفها عن الغاز التام ، فمثلا لا تتبع القانون العام للغازات $PV = RT$ خصوصا عند الضغوط الكبيرة نسبيا أو الصغيرة جدا .

فإذا رسمنا العلاقة بين P ؛ PV فإننا لا نجد خطا أفقيا مستقيما ، كما نتوقع بل نجد نقصا فى قيمة PV أولا يتبعه زيادة عندما يزداد الضغط كثيراً شكل (١–٦) . وقد أجرى رينو هذه الدراسة لغازات مختلفة وعند درجات حرارة مختلفة . ووجد أنه عند درجة حرارة معينة أسماها **درجة حرارة بويل** ، يساوى حاصل الضرب PV مقدار ثابتا .



شكل (١ – ٦)

تفسير الحيود :

. لقد فرضت نظرية الحركة وجود غاز تام ليس لجزيئاته أى حجم ، كما لا يوجد بين هذه الجزيئات قوى جزيئية .

وهذا غير صحيح بالنسبة للغاز الحقيقى .

١ – عند درجات الحرارة المنخفضة يقل PV كلما زاد الضغط P ، وهذا معناه أن

الضغط اللازم لانقاص حجم الغاز بنسبة معينة أقل مما يجب حسب قانون بويل . وقد فسرت تلك الظاهرة على أساس وجود قوى جاذبة جزيئية بين الجزيئات تساعد الضغط الخارجي على أنقاص حجم الغاز .

٢ – أما عند الضغوط المرتفعة يزداد PV عن المعدل ، وذلك بسبب وجود حجم محدود للجزيئات . ويظهر تأثير حجم الجزيئات عند الضغوط العالية وعندما تقترب الجزيئات من بعضها قربا كافيا بحيث يكون حجم الجزيئات متناسبا مع حجم الفراغ الذى تشغله هذه الجزيئات .

معادلة فان درفال للغازات الحقيقية

أدخل فان درفال فى اعتباره القوى الجزيئية بأن اعتبر أن أى جزىء داخل الغاز يقع تحت تأثير جذب جميع الجزيئات المحيطة به ، ولذلك تكون محصلة القوة المؤثرة عليه تساوى صفرا ، بينما ينجذب إلى الخلف الجزىء الذى يتصادم مع الجدران بسبب شد باقى الجزيئات وتكون القوى الجزيئية لذلك سببا فى انقاص ضغط الغاز عما يجب أن يكون عليه ،

وقد صحح فان درفال هذا النقص بأن أضاف إلى الضغط المقاس للغاز حدا يتناسب مع مربع كثافة الغاز أى مع مربع مقلوب الحجم . وبذلك يكون الضغط الصحيح للغاز هو :

$$\left(P + \frac{a}{v^2} \right)$$

أما بالنسبة لحجم الجزيئات فقد استبدل الحجم المقاس للغاز V بالمقدار (V - b) حيث b هو مقدار ثابت يرتبط مباشرة بحجم الجزيئات الفعلى فى الغاز ،

وتصبح معادلة الغاز الحقيقى هى :

$$\left(P + \frac{a}{v^2} \right) (V - b) = R T$$

إيجاد الثوابت a & b عمليا :

نوجد معدل زيادة الضغط مع درجة الحرارة عند ثبوت الحجم ، وذلك بالستخدام الترمومتر الغازى ثابت الحجم ،

نحصل على $\left(\frac{\delta P}{\delta T}\right)_v$ وهو ميل منحنى التغير من P , T كما مبين بشكل (١-٧)

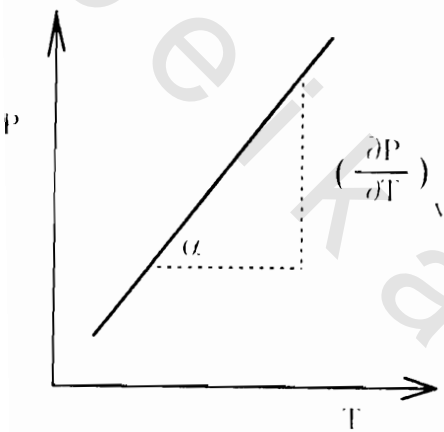
وبمفاضلة معادلة فان درفال جزئيا مع ثبوت الحجم نحصل على :

$$\left(P + \frac{a}{v^2}\right) = \frac{RT}{v - b}$$

$$\left(\frac{\delta P}{\delta T}\right)_v = \frac{R}{V - b}$$

ومنها

$$b = \left[V - \frac{R}{\left(\frac{\delta P}{\delta T}\right)_v}\right]$$



شكل (١ - ٧)

وبالتعويض في معادلة فان درفال نحصل على :

$$a = V^2 \left[T\left(\frac{\delta P}{\delta T}\right)_v - P\right]$$

تمرين (١) :

أوجد عدد جزيئات غاز فى معدل الضغط ودرجة الحرارة الموجودة فى حجم معكب طول ضلعه يساوى طول الموجة المنظورة ٥٠٠٠ أنجستروم .

الحل :

$$\frac{1}{2} m v^2 = \frac{3}{2} k T \qquad m v^2 = 3 kT$$

$$\frac{1}{3} m n v^2 = P = 76 \times 13.6 \times 980$$

$$\therefore n = \frac{3P}{m v^2} = \frac{3 \times 76 \times 13.6 \times 980}{3 kT}$$

$$\therefore N = n V$$

$$= \frac{3 \times 76 \times 13.6 \times 980}{3 \times 1.38 \times 10^{-16} \times 273} \times (5 \times 10^{-5})^8$$

$$= 4 \times 10^6 \text{ molecules}$$

تمرين (٢) :

أوجد درجة حرارة غاز تكون متوسط طاقة الحركة الانتقالية لجزيء فيه مساوية لطاقة أيون مفرد الشحنة singly charged ion له نفس كتلة الجزيء ، وتسارع accelerated من حالة سكون خلال فرق في الجهد قدره :

١ فولط ، ١٠٠٠ فولط ، $١٠^{٦}$ فولط (أهمل تأثير النسبية)

الحل : لجهد ١ فولط :

طاقة الأيون = $ev = 1 \times 10^{19} \times 1.6$ جول

$$ev = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{3}{2} kT$$

$$1.6 \times 10^{-19} = \frac{3}{2} 1.38 \times 10^{-23} \times T$$

$$\therefore T = 7700^0 \text{ K}$$

ولجهد $١٠^{٣}$ فولط $T = 7.7 \times 10^6$ K

ولجهد $١٠^{٦}$ فولط $T = 7.7 \times 10^9$ K

مسائل علي الباب الأول

مسائل وتمارين

١ – أوجد عدد جزيئات غاز فى معدل الضغط ودرجة الحرارة الموجودة فى حجم مكعب ، طول ضلعه يساوى طول الموجة المنظورة ٥٠٠٠ أنجستروم .

الحل :

$$1/2\ m\ v^2 = 3/2\ k\ T$$

$$\therefore\ m\ v^2 = 3\ k\ T$$

من قانون الضغط :

$$1/3\ m\ n\ v^2 = P$$

$$= 76 \times 13.6 \times 980$$

$$\therefore\ n = \frac{76 \times 13.6 \times 980 \times 3}{3\ k\ T}$$

وهذا هو عدد الجزيئات فى وحدة الحجوم من الغاز

عدد الجزيئات فى الحجم المطلوب V

$$N = n\ V$$

$$= \frac{76 \times 13.6 \times 980 \times (5 \times 10^{-5})}{3 \times 1.38 \times 10^{-16} \times 273}$$

$$= 4 \times 10^{6}\ \ mol$$

٢ – احسب عدد الجزيئات فى وحدة الحجوم من من غاز عند درجة ٣٠٠° كلفن ، إذا كان ضغط الغاز $١٠^{٣}$ مم زئبق ثم أوجد عدد الجزيئات فى مكعب طول ضلعه ١ مم تحت نفس الظروف السابقة .

٣ – أوجد عدد مرات تصادم جزيئات الأكسجين على المتر المربع من الجدران فى

obeikandl.com

الثانية ، إذا كانت كثافته ٣ × ١٠ ^{٢٥} جزىء لكل متر مكعب والسرعة المتوسطة للجزىء عند درجة ٢٧٣° كلفن هى ٤٥٠ متر / ثانية .

٤ – عرف ثابت بولتزمان من الناحية الفيزيائية .

٥ – أثبت أن :

أ – طاقة حركة الجزئيات للغازات المختلفة عند نفس درجة الحرارة لا تتوقف على كتلها .

ب – جذر متوسط مربع السرعات للغاز يساوى $\sqrt{\frac{3\,K\,T}{m}}$

حيث T درجة الحرارة المطلقة m كتلة الجزىء .

٦ – احسب طاقة حركة وجذر متوسط مربع سرعة جزئيات الأكسجين عند درجة ٢٧° م ، علما بأن الوزن الجزيئى له ٣٢ .

٧ – أوجد متوسط مربع سرعة جزيئات غاز بدلالة ضغطه وكثافته .

٨ – أوجد درجة حرارة غاز تكون متوسط طاقة الحركة الانتقالية لجزىء فيه مساوية لطاقة أيون مفرد الشحنة له نفس كتلة الجزىء ، وتسارع من حالة السكون خلال فرق جهد قدره ١ فولط ، ١٠٠٠ فولط . أهمل تأثير النسبية .

الحل :

طاقة الأيون $= e\ v$

$= 1 \times 10^{-19} \times 1.6$

$e\ V = 1/2\ m\ v^2 = 3/2\ KT$

obeikandl.com

$$\therefore\ 1.6 \times 10^{-19} = 3/2 \times 1.38 \times 10^{-32}\ T$$

$$\therefore\ T = 7700^{0}\ K$$

ولجهد ١٠٠٠ فولط تكون الدرجة ٧.٧ مليون درجة .

٩ – أثبت أن متوسط مربع السرعات لا تساوى مربع متوسط السرعات للجزئيات الآتية :

العدد	٢	٤	٣
السرعة بالمتر/ثانية	١	٢	٣

الحل :

Ni	2	4	3
vi	1	2	3

$$\overline{v^2} = \frac{\Sigma\ Ni\ vi^2}{\Sigma\ Ni}$$

$$= \frac{2 \times 1^2 + 4 \times 2^2 + 3 \times 3^2}{2 + 4 + 3}$$

$$= 5\ (m/s)^2$$

$$\overline{v} = \frac{\Sigma\ Ni\ vi}{\Sigma\ Ni} = \frac{19}{9} = 2.11$$

$$\overline{(v)^2} = 4.45\ (m/S)^2$$

١٠ – أوجد متوسط طول المسار الحر للأيدروجين فى المعدلين ، علما بأن معامل اللزوجة بوحدات سم . جم . ث ٠.٠٠٠٠٨ وكثافة الأيدروجين فى المعدلين ٠.٠٠٠٠٩ جم / سم^3 . ثم أوجد تردد التصادم .

الحل :

$$N = 1/3 \; m \; n \; \sqrt{v^2} \qquad \ldots (١)$$

$$= 1/3 \; d_{\lambda} \; \sqrt{v^2} \qquad \ldots (٢)$$

$$P = 1/3 \; d \; v^2$$

بحذف v^2 من المعادلتين :

$$\therefore \; \lambda = N \sqrt{\frac{3}{Pd}}$$

وبالنسبة للأيدروجين نجد أن $\lambda = 1445 \times 10^{-5}$ cm

تردد التصادم هو متوسط عدد التصادمات للجزىء الواحد فى الثانية الواحدة ، وهذا يساوى متوسط السرعة مقسوما على متوسط طول المسار الحر ، أى أن

$$\therefore \; \frac{v}{\lambda} = \frac{P}{\eta}$$

$$= \frac{76 \times 13.6 \times 980}{.00008}$$

∴ تردد التصادم = 1.251×10^{10} تصادما فى الثانية

١١ – أوجد نصف قطر جزىء الأيدروجين من بيانات المسألة السابقة

الحل :

$$\lambda \quad \frac{1}{\sqrt{2} \; n \; . \; 4 \pi \; r^2}$$

حيث r نصف الجزىء

$$\therefore \; r^2 = \frac{1}{4 \sqrt{2} \; \pi \; n \; \lambda}$$

ومن ذلك نحصل على :

$$r = 1.19 \times 10^{-8} \quad cm$$

obeikandl.com

١٢ – أوجد الفرق بين متوسط طول المسار الحر لجزئيات الهليليوم تحت ضغط جوى عند درجتى الحرارة صفر ، ١٠٠° م .

لزوجة الهيليوم عند الصفر = ٠,٠٠٠١٩ وعند ١٠٠° م = ٠,٠٠٠٢٣ بوحدات سم جم ث وكثافة الهليوم = ٠,٠٠٠١٧٨٥ جم / سم^{٣}

١٣ – أثبت أن النسبة بين السرعة المتوسطة إلى السرعة الأكثر احتمالا إلى جذر متوسط مربع السرعة لجزيئات غاز هي على الترتيب ١,٥٩ : ١,٤١ : ١,٧٣ .

١٤ – يتمدد غاز تمدد أدياباتيا داخل اسطوانة يتحرك مكسبها ببطء ، وبسرعة u أقل نسبيا من السرعة المتوسطة لجزئيات الغاز أثبت أن طاقة الحركة المفقوده من الجزىء ذى السرعة v هى $2\ m\ v\ u\ \theta$ حيث θ هى زاوية سقوط الجزىء . ثم أثبت أن الطاقة الكلية المفقودة من جزئيات الغاز تساوى الشغل الذى يبذله الغاز عند التمدد .

١٥ – أثبت ما يأتى :

أ – احتمال التصادم بين جزيئات غاز يساوى مقلوب متوسط طول المسار الحر .

ب – يتناسب احتمال التصادم طرديا مع مساحة مقطع التصادم ومع عدد الجزيئات فى وحدة الحجوم .

١٦ – أثبت أن عدد الجزيئات فى غاز والتي لها مسارات حرة أطول من T cm تعطى بالمعادلة $N = N_0 \exp - L/\lambda$

حيث λ هو متوسط طول المسار الحر للجزىء ، N_0 العدد الكلى للجزئيات .

١٧ – أثبت أن متوسط البعد الذى تأتى منه الجزيئات فى غاز لتعبر أى سطح داخله

تساوى $\frac{٢}{٣}$ متوسط طول المسار الحر للجزيئات ، ثم أوجد لزوجة الغاز .

١٨ – أثبت أن لزوجة أى غاز لا تتوقف على ضغطه أو كثافته .

١٩ – أثبت أن لزوجة الغاز تتناسب طرديا مع الجذر التربيعى لدرجة حرارته المطلقة ، ثم أوجد قطر الجزىء بدلالة لزوجة الغاز ودرجة حرارته المطلقة .

٢٠ – متوسط طول المسار الحر لجزيئات غاز عند درجة ٢٥° م هـو ٢.٦٣ × ١٠$^{-٥}$ مترا . أوجد ضغط الغاز علما بأن نصف قطر الجزىء ٢.٥٦ × ١٠$^{-١٠}$ مترا ثم أوجد عدد التصادمات فى المتر من المسار لأحد الجزيئات .

٢١ – متوسط طول المسار الحر لجزيئات غاز ١٠ سم . إذا اعتبرنا ١٠^{٤} مسارات حرة . أوجد عدد الجزيئات التى لها مسارات أكبر من ١٠ سم وكذلك أكبر من ٥٠ سم .

٢٢ – فى المسألة السابقة كم عدد الجزئيات التى يكون لها طول مسارات محصور بين ٩.٥ ، ١٠.٥ سم ؟ وكم عددها بين ٩.٩ ، ١٠.١ سم ؟

٢٣ – يبين الجدول التالى تغير لزوجة غاز ثانى أكسيد الكربون مع درجة الحرارة .

$t\ ^0c$	-21	0	100	182	302
$\eta \times 10^6$	12.9	14	18.6	22.2	26.8

احسب متوسط النسبة $\eta / \sqrt{T}$ ثم أوجد قطر الجزىء ، علما بأن الوزن الجزيئى لثانى أكسيد الكربون ٤٤ كيلو جرام للمول .

٢٤ – أوجد معامل لزوجة الهواء علماً بأن كثافته ١.٢٩٣ كجم / م^{٣} والسرعة المتوسطة $\overline{v}$ لجزيئاته ٤.٦ × ١٠^{٢} م / ث ومتوسط طول المسار الحر ٦.٤ × ١٠$^{-٨}$ متر فى المعدلين ..

٢٥ – مدفع إلكترونى يخرج إلكترونات إلى حيز به غاز ضغطه ١٠٠ نيوتن / م^{٢} ، وتجمع الإلكترونات المتبقية بعد التصادم مع جزيئات الغاز بواسطة لوح معدنى على بعد ١٠ سم من المدفع حيث يقاس التيار .

فإذا كان التيار الإلكترونى المنبعث من المدفع ١٠٠ ميكرو أمبير ، وتيار لوح التجميع ٣٧ ميكرو أمبير :

أ – فأوجد متوسط طول المسار الحر للإلكترونات .

ب – وماذا يصبح تيار اللوح المعدنى إذا أنقصنا ضغط الغاز إلى ٥٠ نيوتن / م^{٢} ؟

الحل :

– أ –

$$N = No\ e^{-X/\lambda}$$

$$\therefore\ 37 = 100\ e^{-X/\lambda}$$

$$0.37 = e^{-X/\lambda} = e^{-1}$$

$$x = \lambda = 10\ cm$$

– ب – بما أن درجة الحرارة لا تتغير

إذن لا تتغير طاقة الحركة $1/2\ m\ v^2$

عند ضغط ١٠٠

$$P_1 = 1/3\ m\ n_1\ v^2$$

عند ضغط ٥٠

$$P_2 = 1/3\ m\ n_2\ v^2$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{2}{1}$$

لكن

$$\lambda = \frac{0.707}{\sigma n}$$

∴ عند الضغط المنخفض :

$$\lambda_2 = 2 \quad \lambda_1 = 20 \text{ cm}$$

$$N / N_0 = e^{-X/\lambda}$$

ومنها

$$I/I_0 = e^{-X/\lambda}$$

$$= e^{-10/20}$$

$$I = 100 \quad e^{-0.5}$$

$$= 60 \text{ mico ampere}$$

٢٦ – يبدأ أيون أكسجين مفرد حركة حرة فى اتجاه عمودى على مجال كهربائى شدته 10^4 فوط / متر فى غاز ضغطه جوى ودرجة حرارته المطلقة ٣٠٠ كلفن .

أ – أوجد المسافة المقطوعة فى اتجاه المجال فى زمن متوسط مسار حر .

ب – ما نسبة متوسط المسار الحر إلى هذه المسافة ؟

جـ – ما السرعة المتوسطة فى اتجاه المجال ؟

د – ما هى نسبة السرعة الحرارية Thermal velocity إلى هذه السرعة ؟

هـ – ما نسبة طاقة التهييج الحرارى إلى الطاقة المكتسبة من المجال أثناء متوسط مسار حر .

٢٧ – فى التجربة الخاصة بتحقيق قانون ماكسويل لتوزيع السرعات كان قطر

obeikandl.com

الاسطوانة ٠,٢٧ مترا ، وعدد دوراتها فى الدقيقة ١٢٠٠٠ ، وكان المصدر عبارة عن فرن يحتوى مادة الزنك في درجة ٣٠٠°م .

أوجد بعد النقطة التى تسقط عليها جزيئات الزنك عندما تكون الاسطوانة ساكنه عن النقطة التى تسقط عندها الجزيئات ذات الطاقة

$$1/2\ m \quad v_x^2 = 2\ KT$$

الوزن الذرى للزنك = ٦٥,٣٧

٢٨ – أوجد متوسط طول المسار الحر ، وتردد التصادم لجزيئات النتروجين عند درجة 20°C وضغط ١ جو .

اعتبر قطر الجزىء 2×10^{-10} m

٢٩ – الطاقة الداخلية لغاز يحتوى n مول من CO_2 عند درجة 300 K تعطى بالمعادلة :

$$U = a\ n\ R\ T + b$$

حيث a , b ثوابت

أ – أوجد السعة الحرارية الجزيئية تحت حجم ثابت C_v .

ب – ماذا تكون C_p لهذا الغاز ؟

جـ – كم عدد درجات الحرية لهذا الجزىء عند هذه الدرجة ؟

obeikandl.com